

VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON VERFORMTEN ZEOLITHEN UND VERFAHREN ZUR ENTFERNUNG  
VON VERUNREINIGUNGEN AUS EINEM GASSTROM

5                    Hinweis auf verwandte Anmeldungen

                  Diese Anmeldung beansprucht die Priorität der  
europäischen Patentanmeldung 03 008 047.7, die am 14.  
April 2003 eingereicht wurde und deren ganze Offenbarung  
10 hiermit durch Bezug aufgenommen wird.

Technisches Gebiet

15                   Die vorliegende Erfindung betrifft ein Ver-  
fahren zur Herstellung eines geformten synthetischen Zeo-  
lithen mit dem Gasströme, die Wasserdampf und Kohlendi-  
oxid als Verunreinigung enthalten, gereinigt werden kön-  
nen, den Zeolithen selbst und dessen Verwendung zur Gas-  
20 reinigung. Insbesondere betrifft die Erfindung einen Zeo-  
lithen in dem das zeolithische Adsorbens mit einem Binder  
verformt ist, der hochdispersen Attapulgitbinder umfasst.

25                   Stand der Technik

                  Zeolithe sind hydratisierte Aluminosilicate  
mit der allgemeinen chemischen Formel



30                   wobei.

                  M üblicherweise ein Metall der Alkali- oder  
Erdalkaligruppe repräsentiert,

                  n die Valenz des Metalls ist,

                  x eine Zahl ist, die - je nach Strukturtyp  
35 des Zeolithen - zwischen 2 und unendlich variieren kann,  
und

y schliesslich den hydratisierten Status des Zeolithen bezeichnet.

Die meisten Zeolithe bilden dreidimensionale Kristalle, wobei die Kristalle eine Grösse von 0.1 bis 30  $\mu\text{m}$  annehmen können. Wenn die Zeolithe erhitzt werden, geben sie kontinuierlich das adsorbierte Wasser ab und es bleibt eine dreidimensionale kristalline Struktur zurück, die Kanäle und Porenöffnungen von molekularer Dimension aufweist. Dies führt zu einer hohen internen Oberfläche, die zur Adsorption von anorganischen und organischen Molekülen geeignet ist. Die Adsorption dieser Moleküle ist nur limitiert durch die Grösse der Kanäle und Porenöffnungen des Zeoliths.

Eine Limitierung in der Anwendung dieser Zeolithe besteht in der Tatsache, dass die Kristalle sehr kleine Partikel bilden. Allfällig natürlich gebildete Agglomerate sind nicht stabil und fallen bei mechanischer Beanspruchung sofort wieder auseinander. Die heute bekannten dynamischen Anwendungen, wie etwa das Trocknen von Erdgas, das Trocknen von Luft, das Abtrennen von Verunreinigungen aus einem Gasstrom, das Trennen von Substanzen eines flüssigen oder gasförmigen Produktstroms, benötigt in der Regel grosse Mengen von Adsorptionsmitteln. Zeolithschüttungen mit diesen kleinen Partikeln können in der Praxis für Adsorptionsanwendungen nicht eingesetzt werden, da der Rückdruck selbst bei kleinen Kolonnen sehr hoch wird. Die Zeolithkristalle werden daher in der Regel mit einem inerten Binder verformt und verfestigt. Dadurch erzielt man Adsorptionssysteme mit einem sehr viel kleineren Rückdruck.

Ein häufig eingesetzter Binder ist Attapulgit-Ton, der nach Anwendung üblicher Verkleinerungsverfahren noch hauptsächlich in Form von Faserbündeln vorliegt und so eingesetzt wird. Zeolithe, die mit Attapulgit verformt sind werden beispielsweise beschrieben in DE 1 055 515, US 2001/0049998, EP 0 949 174, US 4,181,508,

DE 1 040 005 sowie JP 11 245282, JP 2000 211 915 und JP 2000 210 557.

US 5,856,264 beschreibt ein Verfahren zur Herstellung eines speziellen verformten Zeolithen, der  
5 als Isolation von Fensterscheiben geeignet ist. Gemäss diesem Verfahren wird eine wässrige Attapulgit-Dispersion hergestellt, diese mit dem Zeolithen vermischt und anschliessend versprüht. Diesem Dokument ist weder zu entnehmen, wie ein Attapulgit hochdispers gemacht werden  
10 könnte noch welche Eigenschaften ein hochdisperser Attapulgit haben könnte resp. hat.

Die Faujasite mit einem Verhältnis von  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  von 2.3 - 3.0 werden üblicherweise als Zeolith 13X bezeichnet, jene mit einem Verhältnis von  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$   
15 von 2.0 - 2.3 häufig als LSX (Low silica X zeolite), wobei der Übergang von Zeolith LSX zu Zeolith 13X nicht genau festgelegt werden kann. Die Synthese von Zeolith 13X wurde in U.S. Patent 2'882'244 beschrieben, die Synthese von Zeolith LSX in GB Patent 1'051'621.

20 Eine frühe Anwendung von synthetischen Faujasiten bestand in der Reinigung von Luft oder anderen Gasgemischen, bevor sie der Tieftemperaturdestillation oder anderen Prozessschritten zugeführt wurden. Die Entfernung von Wasserdampf und von Kohlenstoffdioxid aus Luft ist  
25 besonders wichtig, da diese beiden Spurengase bei der Abkühlung kondensieren und gefrieren und dadurch die Tieftemperaturdestillation von Stickstoff und Sauerstoff verunmöglichen. In US 3,078,639 wird die Anwendung von synthetischen Faujasiten für die Reinigung von Luft be-  
30 schrieben, wobei das Verhältnis  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  im Faujasiten mit  $2.5 \pm 0.5$  angegeben wird. Die Anwendung des Zeolithen erfolgte entweder als kristalliner Puder oder als Formkörper, wobei für die Herstellung des Formkörpers ein nicht näher spezifiziertes Bindemittel eingesetzt wurde.

35 Die Anwendung von synthetischen Faujasiten mit einem  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnis zwischen 2.0 und 2.3 erwies sich als besonders vorteilhaft, weil die Adsorpti-

onskapazität von Kohlenstoffdioxid vor allem bei niedrigen Partialdrucken besonders hoch war. US 5,531,808 belegt die höhere Adsorptionskapazität von Kohlenstoffdioxid an LSX Zeolithen gegenüber einem Zeolith 13X. Besonders vorteilhaft erwiesen sich die Zeolithe, wenn sie in ihrer Natriumform vorliegen. Dieser Aspekt ist in WO 00/01478 ausführlich beschrieben.

Wird im verformten Material ein Teil des Binders in einer nachfolgenden Behandlung mit wässriger Natronlauge in Zeolith LSX umgewandelt, verbessert sich die Adsorptionskapazität des verformten Zeolithen weiter. Zusätzlich lässt sich gemäss WO 99/46031 das adsorbierte Kohlenstoffdioxid bei tieferer Temperatur desorbieren.

WO 01/24923 beschreibt das Verhalten von Zeolithmischungen, die aus Zeolith 13X und Zeolith LSX hergestellt wurden. Das Adsorptionsvermögen dieser Mischungen ist insbesondere bei tiefen Partialdrucken grösser als man aus Berechnungen erwarten würde. Die austauschbaren Kationen können in weiten Grenzen variiert werden.

Die Abtrennung der Verunreinigungen aus dem Gasstrom kann auf verschiedene Art und Weise erfolgen. Wenn Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf als Spurenelemente adsorbiert werden sollen, erfolgt die Regenerierung des Adsorptionssystems in der Regel thermisch. Man spricht in diesem Fall von einem TSA Prozess (Temperature Swing Adsorption). Alternativ kann die Adsorption und Regeneration des Adsorptionsbettes auch durch Druckwechsel erfolgen. Dieser Prozess wird dann mit PSA bezeichnet (Pressure Swing Adsorption). Die Abtrennung der Verunreinigungen kann in einer Adsorptionskolonne, die mit einem einzigen Adsorptionsmittel gefüllt ist, erfolgen. Alternativ kann die Adsorptionskolonne mit verschiedenen Lagen von Adsorptionsmitteln gefüllt werden, um einzelne Verunreinigungen nacheinander und selektiv abzutrennen. Mögliche Versuchsanordnungen sind in WO 96/14916, EP 1 092 465 und US 6,106,593 beschrieben.

Ziel der vorliegenden Erfindung war es, den klassischen Prozess, mit dem Kohlenstoffdioxid durch selektive Adsorption aus einem Gasstrom, speziell Luft, entfernt wird, zu verbessern.

5

### Darstellung der Erfindung

Ein Gegenstand des vorliegenden Verfahrens ist deshalb die Bereitstellung eines Verfahrens zur Herstellung eines verformten Zeolithen mit verbesserter Kohlenstoffdioxid Adsorption.

Weitere Gegenstände der Erfindung sind ein gemäss diesem Verfahren erhältlicher verformter Zeolith und ein Gasreinigungsverfahren unter Verwendung dieses Zeolithen.

Dieses Ziel wurde erreicht mittels eines Verfahrens zur Herstellung von verformten Zeolithen, das gekennzeichnet ist durch die Verfahrensschritte

a) Mischen von (i) mindestens einem Typ Zeolithkristalle aus der Faujasitfamilie mit einem  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnis von  $\leq 3.0$ , insbesondere Zeolith LSX oder Zeolith LSX und Zeolith 13X, mit (ii) hochdispersem Attapulgitbinder oder hochdispersem Attapulgitbinder und mindestens einem weiteren Tonbinder und (iii) Zugabe von Wasser,

b) Herstellen von verformten Zeolithkörpern aus der in Schritt a) hergestellten Mischung,

c) Trocknen und Kalzinieren der in Schritt a) verformten Zeolithkörper, um das aktive Adsorptionsmittel zu erhalten,

wobei der hochdisperse Attapulgitbinder dadurch gekennzeichnet ist, dass seine Schüttdichte, gemessen nach EN ISO 787:1995D, grösser als 550 g/L ist.

Neben Kohlenstoffdioxid können auch Wasser und andere anorganische Gase sowie Kohlenwasserstoffe, die auch im Gasstrom vorhanden sein können, ebenfalls se-

lektiv an ein Adsorbens gebunden und entfernt werden. Gemäss Aufgabe der Erfindung soll für eine bestimmte Menge zu reinigender Gase eine möglichst kleine Menge Adsorbens eingesetzt werden können. Dadurch können unter anderem  
5 die Regenerationszeiten des Adsorbens und damit die Gesamtkosten des Reinigungsprozesses gesenkt werden. Die gereinigten Gase werden in der Regel anschliessend einer kryogenen Destillation unterworfen.

Alle bisherigen Entwicklungen konzentrierten  
10 sich auf die Erhöhung der Adsorptionskapazität bei tiefen Partialdrucken von Kohlenstoffdioxid. Um dies zu erreichen, wurde der Zeolith, bzw. die Zeolithmischung optimiert. Es zeigte sich, dass die Faujasite mit einem tieferen Verhältnis von  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  eine höhere Adsorptionskapazität für Kohlenstoffdioxid aufweisen als jene mit einem höheren Verhältnis von  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ . Zusätzliche Adsorptionskapazität konnte gewonnen werden, wenn ein Teil des Binders in einem separaten Reaktionsschritt in Zeolith umgewandelt wurde. Mit Ausnahme dieses umgewandelten Tonbinders wurde die Rolle des Tonbinders auf den Adsorptionsprozess bei all diesen Arbeiten kaum oder nicht be-  
15 20 rücksichtigt.

Es hat sich nun gezeigt, dass für die Beurteilung des Adsorptionsprozesses nicht nur die Adsorptionskapazität, sondern auch die Adsorptionskinetik wesentlich ist. Die Adsorptionskinetik wurde bisher bei keinem Verbesserungsvorschlag berücksichtigt. Diese kann mit einer Durchflussapparatur bestimmt werden, wobei einerseits die Durchbruchzeit und andererseits die Massentransferzone bestimmt werden kann. Die Durchbruchzeit bei kleinen Partialdrucken ist dann abhängig von der Adsorptionskapazität und von der Adsorptionskinetik.  
25 30

Es wurde nun gefunden, dass durch Optimierung der eingesetzten Zeolithe und Tonbinder die Durchbruchzeit für Kohlenstoffdioxid wesentlich erhöht werden kann. Insbesondere die Anwendung eines hochdispersen Attapulgitbinders - auch in kleinen Mengen - auf ein Zeolithsy-  
35

stem von Zeolith 13X und Zeolith LSX führte zu einem Adsorptionsverhalten, das nicht voraussehbar war. Während Zeolithe 13X und LSX bevorzugt sind, lassen sich die Vorteile der Erfindung auch mit anderen Zeolithen des Faujasith-Typs realisieren.

Tonteilchen, insbesondere Attapulgit-Tonteilchen, existieren als dichte Materialien mit sehr beschränkten Adsorptionskapazitäten. Diese herkömmlichen Tonbinderteilchen unterscheiden sich in Grösse und Form von den Zeolithteilchen. Wenn sie mit Zeolithkristallen gemischt werden, neigen sie dazu, Platz zwischen den Zeolithkristallen einzunehmen und sie können zur Adsorption durch das Zeolithmaterial beitragen, ohne die generelle Adsorption der Zeolithmischung zu verbessern. Insbesondere Attapulgit-Tonteilchen liegen nach Gewinnung und Aufbereitung noch in der Form dichter Bündel aus zusammengeklumpten Borsten vor. Solche Bündel konnten mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) bestätigt werden. Damit Attapulgit als Binder für Zeolithteilchen verwendet werden kann, müssen diese Borsten aufgetrennt oder zermahlen werden. Ohne Zermahlen dieser Attapulgit-Tonteilchen auf geringere Grösse entsteht in der Zeolithmischung eine nicht poröse Schicht aus Attapulgit-Tonteilchen, welche die Diffusion der zu adsorbierenden Substanzen durch die Mischung verhindert oder zumindest wesentlich beschränkt. Die bisher verwendeten konventionellen Attapulgit-Tone werden durch Trockenmahlen des Attapulgit-Tons hergestellt. Im herkömmlichen Verfahren werden diese trocken gemahlene Borstenbündel des Attapulgit-Tons mit den Zeolithkristallen vermischt. Sogar nach dem herkömmlichen Mahlen des Attapulgit-Tons sind immer noch grosse Bündel an Attapulgitborsten vorhanden. Wenn diese konventionell zerkleinerten Attapulgit-Tonbündel mit Zeolith gemischt und zu einem Adsorptionsmittel verformt werden, wird die Fähigkeit des Zeolithmaterials, die gewünschten Adsorbate zu adsorbieren, nicht wesentlich erhöht.

Erfindungsgemäss wird anstelle eines solchen herkömmlichen Tonbindermaterials hochdispergierter Attapulgitton als Binder verwendet.

Unter hochdispersem Attapulgitbinder wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung ein gereinigtes Magnesium-Aluminium-Silicat verstanden, das Natriumpolyacrylat als Dispergiermittel enthält und durch chemische Prozesse selbstdispergierend gemacht wurde.

Der Unterschied zwischen herkömmlichem, dichtem Attapulgit-Ton und den hochdispersen Attapulgit-Tonteilchen, die erfindungsgemäss verwendet werden, kann mittels Rasterelektronenmikroskopie gezeigt werden. Ein anderes Verfahren um zwischen herkömmlich dichtem Attapulgit-Ton und den hochdispersen Attapulgit-Tonprodukten zu unterscheiden ist die Schüttdichte, gemessen nach EN ISO 787:1995D. Dichte Attapulgit-Tonbinder enthalten einen Restwassergehalt von etwa 20 bis 25% und sie weisen eine Schüttdichte von etwa 400g/Liter bis etwa 530g/Liter auf. Hochdisperse Attapulgitbinder weisen ebenfalls einen Restwassergehalt von etwa 20 bis 25% auf, haben aber eine Schüttdichte von etwa 550g/Liter bis etwa 700g/Liter.

Ein anderes Verfahren um zwischen herkömmlichen dichten Attapulgit-Tonen und hochdispersen Attapulgit-Tonprodukten zu unterscheiden ist die Feststellung der Wasseradsorptionskapazität der Attapulgit-Tonprodukte. Um festzustellen, ob der Tonbinder hochdispers ist, wird der Tonbinder bei 50% relativer Feuchte und bei 25°C so lange gesättigt, bis die Gleichgewichtsadsorptionskapazität erreicht worden ist. Dieses Verfahren kann bis zu 72 Stunden dauern. Nach vollständiger Hydratation des Tons wird der Ton bei 550°C während mindestens 2 Stunden getrocknet. Der Unterschied zwischen dem Gewicht des vollständig hydratisierten Tons und dem getrockneten Ton ist die Wasseradsorptionsfähigkeit. Für dichte Attapulgit-Tone liegt die Wasseradsorptionsfähigkeit unter 30%, während diese für hochdisperse Attapulgit-Ton oberhalb 35% beträgt.

Ein Herstellungsverfahren, dessen Ziel es war andere Tonarten vom Attapulgit abzutrennen, ist in US 6,130,179 beschrieben. Der hochdisperse Attapulgitbinder, der gemäss diesem Verfahren erhältlich ist, enthält hochdisperse Attapulgitfasern, hat eine Schüttdichte gemessen nach EN ISO 787:1995D von mindestens 550 g/L und eine Wasseradsorptionskapazität von über 35 Gew.-%.

Weitere Ausgestaltungen, Vorteile und Anwendungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen und aus der nachfolgenden Beschreibung.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnung

Der Vorteil des Gegenstands der vorliegenden Erfindung wird u.a. aus der Figur 1 ersichtlich.

**Figur 1** zeigt die Durchbruchzeiten von Kohlenstoffdioxid in Abhängigkeit des gewählten Binders und der Zeolithzusammensetzung.

#### Wege zur Ausführung der Erfindung

Wenn Zeolith 13X durch Zeolith LSX ersetzt wird, kann von einer Verlängerung der Durchbruchzeit ausgegangen werden, da der Zeolith LSX über eine gegenüber Zeolith 13X erhöhte Adsorptionskapazität verfügt. Die Durchbruchzeit für einen Zeolith 13X, der mit einem herkömmlichen Tonbinder hergestellt wurde, beträgt 158 Minuten. Wird der Zeolith 13X durch Zeolith LSX ersetzt, erhöht sich die Durchbruchzeit auf 213 Minuten. Die Erhöhung der Durchbruchzeit beträgt 35 %. In EP 0 930 089 wird ein analoges Experiment beschrieben. Dort wurde beim Ersatz eines Zeolith 13X durch einen Zeolith LSX eine Erhöhung der Durchbruchzeit von 43% ermittelt.

Wird der in diesen Experimenten verwendete herkömmliche Tonbinder durch einen hochdispersen Attapulgitbinder ersetzt, ist die Durchbruchzeit für einen Zeo-

lith 13X nahezu identisch wie für Zeolith 13X mit dem herkömmlichen Binder. Sie beträgt 161 Minuten. Wird der Zeolith 13X stufenweise durch Zeolith LSX ersetzt, erhöht sich die Durchbruchzeit stärker mit dem hochdispersen Binder als mit dem herkömmlichen Binder, nämlich um 67 %, statt der erwarteten 35%. Wird reiner Zeolith LSX eingesetzt, erhöht sich die Durchbruchzeit auf 269 Minuten. Das Resultat wird in der Tabelle und in Figur 1 gezeigt.

10 **Tabelle:** Durchbruchzeiten in Abhängigkeit des gewählten Binders und der Zeolithzusammensetzung

Versuch Nummer	Anteil LSX im Zeolithgemisch	Hochdisperser Binder Durchbruchzeit in Minuten	konventioneller Tonbinder Durchbruchzeit in Minuten
Beispiel 2 und 4	0 %	161	158
Beispiel 3	33 %	206	
Beispiel 5	33 %	192	
Beispiel 6 und 9	50 %	216	195
Beispiel 7 und 8	100 %	269	213

15 Für die in der Tabelle gezeigten Resultate wurden Zeolithe eingesetzt, deren mobile Kationen hauptsächlich Natrium waren. Werden Natriumionen gegen andere Kationen ausgetauscht, entstehen dadurch Adsorptionssysteme, die ebenfalls für die Reinigung von Gasströmen eingesetzt werden können. Als weitere Kationen kommen vor allem Kalium und Calcium in Frage.

Der verformte Zeolith wird mittels eines Verfahrens hergestellt, das sich durch die folgenden Verfahrensschritte auszeichnet:

25 a) Mischen von (i) mindestens einem Typ Zeolithkristalle aus der Faujasitfamilie mit einem  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnis von  $\leq 3.0$ , insbesondere Zeolith LSX oder Zeolith LSX und Zeolith 13X, mit (ii) hochdisperser Attapulgitbinder oder hochdisperser Attapulgitbinder und

mindestens einem weiteren Tonbinder und (iii) Zugabe von Wasser,

b) Herstellen von verformten Zeolithkörpern aus der in Schritt a) hergestellten Mischung,

5 c) Trocknen und Kalzinieren der in Schritt b) verformten Zeolithkörper, um das aktive Adsorptionsmittel zu erhalten,

wobei der hochdisperse Attapulgitbinder dadurch gekennzeichnet ist, dass seine Schüttdichte, gemessen nach EN ISO 787:1995D, grösser als 550 g/L ist.

Nach Schritt c) kann wahlweise ein Ionenaustausch erfolgen.

Die in Schritt a) eingesetzten Zeolith 13X Kristalle und Zeolith LSX Kristalle können nach an und für sich bekannten Verfahren hergestellt werden, gegebenenfalls gefolgt von einem Ionenaustauschschritt.

Wird in Schritt a) eine Mischung umfassend verschiedene Zeolithe und/oder hochdispersen Attapulgitbinder und herkömmlichen Binder hergestellt, so können die Zeolithe und die Binder als Einzelkomponenten in Schritt a) eingesetzt werden oder die Zeolithe einerseits und/oder die Binder andererseits können vorgemischt zur Anwendung kommen.

Auch die Herstellung des Attapulgitbinders mit hochdispersen Attapulgitfasern (hochdisperser Attapulgitbinder) und des herkömmlichen Attapulgitbinders oder anderen Tonbinders kann nach bekannten Verfahren erfolgen. Ein geeigneter hochdisperser Attapulgitbinder ist gemäss dem in US 6,130,179 beschriebenen Verfahren erhältlich. Ein solcher Attapulgitbinder enthält nur einen geringen Restgehalt an nicht dispergierten Attapulgitfaserbündeln.

Die wesentlichen Verfahrensschritte bei der Herstellung des hochdispersen Attapulgits gemäss US 6, 130,179 sind:

- Brechen des Tonerzes,

- Herstellung eines wässrigen Polyacrylates durch Zugabe eines Polyacrylats, nämlich eines Natrium-Polyacrylats mit Molekulargewicht zwischen 4000 und 5000, zu Wasser,

5                   - Herstellen einer Aufschlämmung des gebrochenen Tonerzes im wässrigen Polyacrylat, beispielsweise durch Zugabe des gebrochenen Attapulgit-Tonerzes unter mittleren bis hohen Scherbedingungen,

10                   - Abtrennen des dispergierten Attapulgit-Tons von nicht dispergiertem Material, und

                  - Trocknen des dispergierten Attapulgit-Tons.

Mittels dieses Verfahrens wird ein hochdisperser Attapulgit-Ton mit den für den hochdispersen Attapulgit der vorliegenden Erfindung wesentlichen Eigenschaften erhalten. Das Verfahren wird vorzugsweise mit  
15                   einer Natrium-Polyacrylat-Menge von 1 bis 4 % bezogen auf das Gewicht des trockenen Tonerzes durchgeführt und unter Dispergierbedingungen, bei denen mindestens 30 % des Attapulgit-Tons als dispergierter Attapulgit anfallen. Die  
20                   Abtrennung des dispergierten Attapulgit-Tons von undispergierten Teilchen kann beispielsweise durch Sieben, z.B. durch ein Sieb von 325 mesh, oder Zentrifugieren erfolgen. Der getrocknete, hochdisperse Attapulgit enthält üblicherweise darauf adsorbiertes Dispergiermittel, insbesondere Natrium-Polyacrylat.  
25

Der Anteil des Binders im fertigen Adsorptionsmittel macht üblicherweise einen Anteil zwischen 2 und 30 Gewichtsprozent aus, vorzugsweise einen Anteil zwischen 5 und 20 Gewichtsprozent.

30                   Der verformte Zeolith kann in beliebiger Form vorliegen, z.B. als Kügelchen, Pillen, Tabletten etc.

Die Kalzinierung erfolgt vorzugsweise bei ca. 600°C während etwa 30 Minuten bis 2 Stunden.

Der im Rahmen dieser Erfindung eingesetzte  
35                   Zeolith 13X weist üblicherweise ein  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnis von 2.3 - 3.0 auf, vorzugsweise zwischen 2.3 und 2.5 und der eingesetzte Zeolith LSX weist üblicherweise ein

SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Verhältnis von 2.0 - 2.3 auf, vorzugsweise von ca. 2.0.

Die Zeolithe enthalten 75-100 %, vorzugsweise 95-100 % Natrium. Die restlichen Kationen sind mehrheitlich Kalium.

Für spezielle Anwendungen können andere Kationen in Mengen bis zu 95% vorhanden sein. Für die Adsorption von z.B. Lachgas, enthalten geeignete Zeolithe zwischen 60 und 95% Calcium, vorzugsweise jedoch zwischen 75 und 85%, die restlichen Kationen sind mehrheitlich Natrium und Kalium.

Die Zeolithe können zusätzlich mindestens ein weiteres Kation oder mehrere weitere Kationen der Alkalimetalle, der Erdalkalimetalle, der Elemente der Gruppe IIIB oder der Lanthaniden enthalten.

Bevorzugt ist ein Zeolith, der mindestens 10 % LSX enthält. Speziell geeignete Mischungen enthalten von 10 bis 95 % LSX resp. von 90 bis 5 % 13X, insbesondere von 10 bis 90 % LSX resp. von 90 bis 10 % 13X, wobei die Summe aller Zeolithe 100 % beträgt. Auch höhere Anteile LSX, nämlich bis 100 % ergeben sehr gute Durchbruchzeiten.

Als Tonbinder wird ein hochdisperser Attapulgit-Binder alleine oder, bevorzugt, als Mischung mit konventionellen Tonbindern eingesetzt. Ein solcher hochdisperser Attapulgitbinder kann z.B. wie vorne erwähnt selbstdispersierend sein, wobei durch das Mischen von hochdisperserem mit üblichem Attapulgitbinder der Gesamtgehalt an Dispersiermittel auf die am hochdispersen Attapulgit-Binder adsorbierte Menge beschränkt sein kann.

Überraschenderweise wurde festgestellt, dass nur sehr geringe Anteile an hochdisperserem Attapulgitbinder notwendig sind, um zusammen mit herkömmlichem Binder eine Verbesserung der Durchbruchzeit zu ergeben, die im Rahmen von hochdisperserem Attapulgitbinder alleine liegt. Bereits 10 % hochdisperser Binder resp. 90 % herkömmlicher Binder ergeben eine markante Verbesserung. Deshalb

wird erfindungsgemäss vorzugsweise mit Bindermischungen aus 10 - 90 % hochdispersem Attapulgitbinder zusammen mit einem oder mehreren herkömmlichen Bindern gearbeitet, wobei die Summe an hochdispersem Attapulgitbinder und herkömmlichen Bindern 100 % beträgt. Dies ist sowohl aus ökonomischer als auch aus ökologischer Sicht sehr vorteilhaft. Vorzugsweise beträgt der Anteil an herkömmlichem Binder aber maximal 80 %, insbesondere maximal 70 %.

Während der hochdisperse Binder ein Attapulgitbinder ist, kann der herkömmliche Binder irgendein für das Verformen von Zeolithen geeigneter Tonbinder sein, d.h. neben Attapulgit z.B. auch Kaolin, Bentonit, Montmorillonit, Sepiolith und ähnliche resp. Mischungen solcher Tonbinder.

In einer speziellen Ausführungsform wird neben hochdispersem Attapulgitbinder als herkömmlicher Binder Kaolin eingesetzt und nach der Kalzinierung gegebenenfalls in einem Nachbehandlungsschritt zumindest teilweise in Zeolith überführt.

Bei der Verformung können übliche Additive zugegeben werden, insbesondere organische Additive wie porenformende Hilfsstoffe. Zu den porenformenden Hilfsstoffen gehören beispielsweise Fasern wie Rayon, Nylon, Sisal und Flachs, daneben auch organische Polymere, wie Stärke, Stärkederivate, Ligninsulfonate, Polyacrylamide, Polyacrylsäuren, Cellulose und Cellulosederivate. Die Menge der zugefügten porenformenden Substanzen beträgt üblicherweise, bezogen auf das Fertigprodukt, zwischen 2 und 15 Gewichtsprozent.

Die Adsorption der Spurengase erfolgt in einem oder mehreren Adsorbern, die vorzugsweise parallel geschaltet werden. Die beladenen Adsorber werden mit geeigneten Methoden regeneriert. Der Adsorptionsprozess kann entweder im TSA (temperature swing adsorption) oder im PSA (pressure swing adsorption) Modus durchgeführt werden, wobei der TSA Modus bevorzugt wird.

Mit dem erfindungsgemässen Adsorptionssystem werden ausserordentlich hohe Adsorptionskapazitäten, verbunden mit kurzen Massentransferzonen, erreicht und damit eine längere Standzeit der Adsorptionssysteme, bevor der  
5 Durchbruch von Kohlenstoffdioxid erfolgt.

Neben einem Verfahren zur Herstellung des verformten Zeolithen sind auch ein gemäss diesem Verfahren erhältlicher verformter Zeolith und ein Gasreinigungsverfahren unter Verwendung dieses Zeolithen Gegen-  
10 stände dieser Erfindung.

Im Verfahren zur Entfernung einer oder mehrerer Verunreinigungen aus einem Gasstrom wird der Gasstrom durch eine Schüttung des erfindungsgemässen zeolithischen Adsorptionsmittels geleitet.

15 Ein bevorzugter Gasstrom ist ein Luftstrom mit Verunreinigungen, die mittels des erfindungsgemässen Zeolithen aus Gasströmen entfernt werden können. Die Verunreinigungen umfassen Kohlenstoffdioxid, Wasser, Lachgas, ein anderes anorganisches Gas, Kohlenwasserstoffe  
20 und Mischungen von zweien oder mehreren dieser Stoffe. Eine Verunreinigung, zu deren Entfernung die erfindungsgemässen Zeolithe speziell geeignet sind, ist Kohlenstoffdioxid. Insbesondere bei Gemischen von Verunreinigungen, die entfernt werden sollen, kann das Bett eine  
25 Schüttung aus verschiedenen Zeolithen umfassen, wobei erfindungsgemässe Zeolithe alleine oder in Kombination mit herkömmlichen Zeolithen vorhanden sein können.

Die Erfindung wird nun anhand einiger Beispiele weiter erläutert. Diese Beispiele sollen zur Illustration dienen und die Erfindung in keiner Art und Weise  
30 einschränken.

### Beispiele

35

Die in den Beispielen verwendeten Zeolithpulver wurden von der Firma Zeochem AG, Uetikon, erhalten. Der hochdisperse Attapulgitbinder und der herkömmliche

Attapulgitbinder wurden von der Firma ITC Floridin erhalten.

### Beispiel 1

#### 5                   **Synthese des Zeolithen LSX und des Zeolithen 13X**

Die Synthese des Zeolithen LSX erfolgt nach einer in der Literatur beschriebenen Methode, zum Beispiel gemäss GB 1'580'928. Das erhaltene Produkt weist  
10 ein  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnis von nahe 2.0 auf. Die Kationen bestehen zu 20 - 30% aus Kalium und zu 70 - 80% aus Natrium. Der Zeolith, wie er nach der Synthese anfällt, wird als NaK-LSX bezeichnet. Das Verhältnis der Kationen kann durch einen klassisch durchgeführten Ionenaustausch  
15 verändert werden. Wird das synthetisierte Produkt mit Natriumionen behandelt, erhält man einen Zeolith LSX, der Natriumionen bis zu einem Austauschgrad von 99% enthält. Dieser Zeolith wird üblicherweise als Na-LSX bezeichnet. Analog wird verfahren, wenn ein Zeolith mit einem anderen  
20 Kation gewünscht wird. Die verschiedenen Kationen üben einen massgeblichen Einfluss auf die Adsorptionskapazität von Kohlenstoffdioxid, Lachgas oder Kohlenwasserstoffen aus.

Die Synthese des Zeolithen 13X erfolgt ebenfalls nach einer in der Literatur beschriebenen Methode,  
25 zum Beispiel wie beschrieben in H. Robson „Verified syntheses of zeolitic materials“, Elsevier, 2001, S. 150-151.

#### 30                   **Beispiel 2**

**Herstellen von granuliertem Molekularsieb 13X mit herkömmlichem Attapulgitbinder für die Luftreinigung (Vergleichsbeispiel)**

Eine Mischung von 13X Zeolith Puder, organischen Additiven (Porenbildnern) und einem herkömmlichen  
35 Attapulgit-Tonbinder (Binderanteil 16 %) wurde kontinuierlich in einen Granulierteller eingetragen. Während des

Granulierprozesses wurde Wasser auf die Pudermischung aufgesprüht, um eine konstante Feuchtigkeit aufrecht zu erhalten, wie sie für die Aufpuderung während des Prozesses benötigt wird. Die Pudermischung wurde mit einer Geschwindigkeit von 500 kg/h zudosiert. Nachdem die ganze Pudermischung eingetragen war, wurden die entstandenen Kugeln während 10 Minuten nachgerollt. Das entstandene Grünkorn wurde auf die Fraktion 1.6 - 2.6 mm ausgesiebt, bei 100°C getrocknet und anschliessend bei 620°C kalziniert. Das kalzinierte und anschliessend abgekühlte Material wurde in luftdicht schliessende Behälter verpackt und analysiert. Die erreichte Durchbruchzeit von Kohlenstoffdioxid betrug 158 Minuten.

15

### Beispiel 3

**Herstellen von granuliertem Molekularsieb 13X/LSX mit hochdispersem Binder für die Luftreinigung (gemäss Erfindung)**

Eine Mischung von Na-LSX Zeolith Puder und 13X Zeolith Puder (gemischt im Verhältnis 33:67), organischen Additiven (Porenbildnern) und einer Mischung aus hochdispersem Attapulgit-Tonbinder mit herkömmlichem Attapulgitbinder (gemischt im Verhältnis 33:67; Binderanteil insgesamt 12 %) wurde kontinuierlich in einen Granulierteller eingetragen. Während des Granulierprozesses wurde Wasser auf die Pudermischung aufgesprüht, um eine konstante Feuchtigkeit aufrecht zu erhalten, wie sie für die Aufpuderung während des Prozesses benötigt wird. Die Pudermischung wurde mit einer Geschwindigkeit von 500 kg/h zudosiert. Nachdem die ganze Pudermischung eingetragen war, wurden die entstandenen Kugeln während 10 Minuten nachgerollt. Das entstandene Grünkorn wurde auf die Fraktion 1.6 - 2.6 mm ausgesiebt, bei 100°C getrocknet und anschliessend bei 620°C kalziniert. Das kalzinierte und anschliessend abgekühlte Material wurde in luftdicht schliessende Behälter verpackt und analysiert. Die er-

reichte Durchbruchzeit von Kohlenstoffdioxid betrug 206 Minuten.

#### Beispiele 4 - 9

##### 5           Herstellen von granuliertem Molekularsieb 13X/LSX mit hochdisperssem Binder für die Luftreinigung

Es wurden Mischungen von Zeolithpudern mit verschiedener Zusammensetzung hergestellt. Diese Mischungen wurden weiter mit organischen Additiven (Porenbild-  
10 nern) und Tonbindern vermischt und angefeuchtet. 2 kg dieser Mischungen wurden in einem Eirich Intensivmischer R02 granuliert, bis einheitliche Zeolithkugeln entstanden. Das Grünkorn wurde auf eine Kugelgrösse von 1.6 - 2.6 mm ausgesiebt, bei 100°C getrocknet und anschliessend  
15 bei 620°C kalziniert. Das kalzinierte und anschliessend abgekühlte Material wurde in luftdicht schliessende Behälter verpackt und analysiert.

Bei Beispiel 4 wurde nur Molekularsieb 13X eingesetzt. Für die Granulierung wurde eine Bindermischung eines hochdispersen Attapulgitbinders und eines  
20 herkömmlichen Attapulgitbinders, gemischt im Verhältnis 50:50, eingesetzt (Binderanteil 12 %). Die erreichte Durchbruchzeit betrug 161 Minuten.

Bei Beispiel 5 wurde Molekularsieb 13X und  
25 Molekularsieb LSX im Verhältnis 67:33 eingesetzt. Für die Granulierung wurde eine Bindermischung eines hochdispersen Attapulgitbinders und eines herkömmlichen Attapulgitbinders, gemischt im Verhältnis 50:50, eingesetzt (Binderanteil 12 %). Die erreichte Durchbruchzeit betrug 192  
30 Minuten.

Bei Beispiel 6 wurde Molekularsieb 13X und Molekularsieb LSX im Verhältnis 50:50 eingesetzt. Für die Granulierung wurde eine Bindermischung eines hochdispersen Attapulgitbinders und eines herkömmlichen Attapulgit-  
35 binders, gemischt im Verhältnis 50:50, eingesetzt (Binderanteil 12 %). Die erreichte Durchbruchzeit betrug 216 Minuten.

Bei Beispiel 7 wurde nur Molekularsieb LSX eingesetzt. Für die Granulierung wurde eine Binder-  
mischung eines hochdispersen Attapulgitbinders und eines  
herkömmlichen Attapulgitbinders, gemischt im Verhältnis  
5 50:50, eingesetzt (Binderanteil 12 %). Die erreichte  
Durchbruchzeit betrug 269 Minuten.

Bei Beispiel 8 (Vergleichsbeispiel) wurde nur  
Molekularsieb LSX eingesetzt. Als Binder wurde ein her-  
kömmlicher Attapulgit eingesetzt (Binderanteil 16 %). Die  
10 erreichte Durchbruchzeit betrug 213 Minuten.

Bei Beispiel 9 (Vergleichsbeispiel) wurde Mo-  
lekularsieb 13X und Molekularsieb LSX im Verhältnis 50:50  
eingesetzt. Für die Granulierung wurde ein herkömmlicher  
Attapulgit eingesetzt (Binderanteil 16 %). Die erreichte  
15 Durchbruchzeit betrug 195 Minuten.

#### Beispiel 10

##### Bestimmen der Durchbruchzeit

In ein Adsorptionsgefäß von 30 mm Durchmes-  
20 ser wird das zu analysierende Molekularsieb eingefüllt.  
Bei einem Druck von  $6 \times 10^5$  Pa, einer Temperatur von 25°C  
und einer Durchflussgeschwindigkeit von 2.4 m<sup>3</sup>/h lässt  
man gereinigten Stickstoff, der mit 450 ppm Kohlenstoff-  
dioxid versetzt ist, durchströmen. Mit Hilfe eines Infra-  
25 rotdetektors wird bestimmt, nach welcher Zeit das Kohlen-  
stoffdioxid am Ende des Adsorptionsgefäßes erscheint.  
Dieser Zeitpunkt wird mit Durchbruchzeit bezeichnet und  
notiert.

Mittels dieses Verfahrens wurden die im Rah-  
30 men dieser Erfindung genannten Durchbruchzeiten bestimmt  
(siehe z.B. Tabelle).

Während in der vorliegenden Anmeldung bevor-  
zugte Ausführungen der Erfindung beschrieben sind, ist  
klar darauf hinzuweisen, dass die Erfindung nicht auf  
35 diese beschränkt ist und auch in anderer Weise innerhalb  
des Umfangs der folgenden Ansprüche ausgeführt werden  
kann.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von verformten Zeolithen, gekennzeichnet durch die Verfahrensschritte

5 a) Mischen von (i) mindestens einem Typ Zeolithkristalle aus der Faujasitfamilie mit einem  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ -Verhältnis von  $\leq 3.0$ , insbesondere Zeolith LSX oder Zeolith LSX und Zeolith 13X, mit (ii) hochdispersem Attapulgitbinder oder hochdispersem Attapulgitbinder und  
10 mindestens einem weiteren Tonbinder und (iii) Zugabe von Wasser,

b) Herstellen von verformten Zeolithkörpern aus der in Schritt a) hergestellten Mischung,

c) Trocknen und Kalzinieren der in Schritt a) verformten Zeolithkörper, um das aktive Adsorptionsmittel zu erhalten,

wobei der hochdisperse Attapulgitbinder dadurch gekennzeichnet ist, dass seine Schüttdichte, gemessen nach EN ISO 787:1995D, grösser als 550 g/L ist.

20 2. Verfahren gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass nach Schritt c) ein Ionenaustausch erfolgt.

3. Verfahren gemäss Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Anteil des Binders im fertigen Adsorptionsmittel einen Anteil zwischen 2 und 30 Gewichtsprozent ausmacht.

4. Verfahren gemäss Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Anteil des Binders im fertigen Adsorptionsmittel einen Anteil zwischen 5 und 20 Gewichtsprozent ausmacht.

5. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass 10 bis 90 % des Binders herkömmlicher Tonbinder ist.

6. Verfahren gemäss Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass maximal 80 % des Binders herkömmlicher Tonbinder ist.

7. Verfahren gemäss Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass maximal 70 % des Binders herkömmlicher Tonbinder ist.

5 8. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeolithtypen 13X und LSX in einem Verhältnis von 90:10 bis 5:95 eingesetzt werden.

10 9. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass beide Zeolithtypen 13X und LSX zu mindestens 70 %, vorzugsweise zu mindestens 90 % in der Natriumform vorliegen.

15 10. Verfahren gemäss Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass beide Zeolithtypen 13X und LSX im Maximum zu 30 %, vorzugsweise im Maximum zu 10 % in der Kaliumform vorliegen.

11. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass beide Zeolithtypen 13X und LSX zu 60 bis 95 % in der Calciumform vorliegen, vorzugsweise zwischen 75 und 85%.

20 12. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Mischung der Zeolithkristalle und des Binders ein porenformendes Mittel zugegeben wird.

25 13. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das porenformende Mittel in einer Menge zugegeben wird, die bezogen auf das Fertigprodukt einer Menge zwischen 2 und 15 Gewichtsprozent entspricht.

30 14. Zeolithisches Adsorptionsmittel erhältlich mittels des Verfahrens gemäss einem der vorangehenden Ansprüche.

35 15. Ein Verfahren, um eine oder mehrere Verunreinigungen aus einem Gasstrom zu entfernen, dadurch gekennzeichnet, dass der Gasstrom durch eine Schüttung des zeolithischen Adsorptionsmittel gemäss Anspruch 14 geleitet wird.

16. Verfahren gemäss Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Gasstrom ein Luftstrom ist und die Verunreinigung ausgewählt ist aus der Gruppe bestehend aus Kohlenstoffdioxid, Wasser, Lachgas, einem anderen anorganischen Gas, Kohlenwasserstoffen und Mischungen von zwei und mehreren dieser Stoffe.

17. Verfahren gemäss Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Verunreinigung Kohlenstoffdioxid ist.

18. Verfahren gemäss einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Adsorption im Wechsel mit einer Desorption im PSA-Modus oder insbesondere im TSA- Modus erfolgt.

19. Verwendung eines zeolithischen Adsorptionsmittels gemäss Anspruch 14 zur Entfernung von Verunreinigungen ausgewählt aus der Gruppe bestehend aus Kohlenstoffdioxid, Wasser, Lachgas, einem anderen anorganischen Gas, Kohlenwasserstoffen und Mischungen von zwei und mehreren dieser Stoffe, aus einem Gasstrom, insbesondere einem Luftstrom.

20. Verwendung gemäss Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Verunreinigung Kohlenstoffdioxid ist.

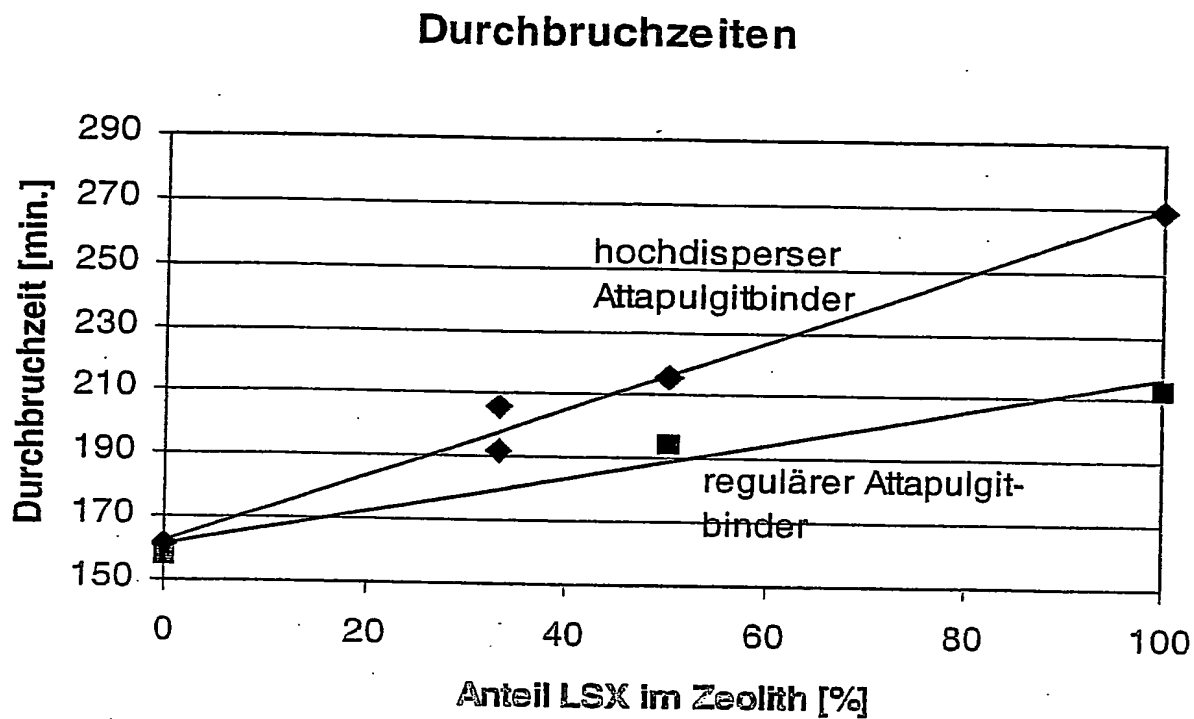


Fig. 1